

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 43 09 524 C 1

21 Aktenzeichen: P 43 09 524.0-16  
22 Anmeldetag: 24. 3. 93  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 11. 93

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
B 29 C 39/42

BA

DE 43 09 524 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

EOS GmbH Electro Optical Systems, 82152 Planegg,  
DE

72 Erfinder:

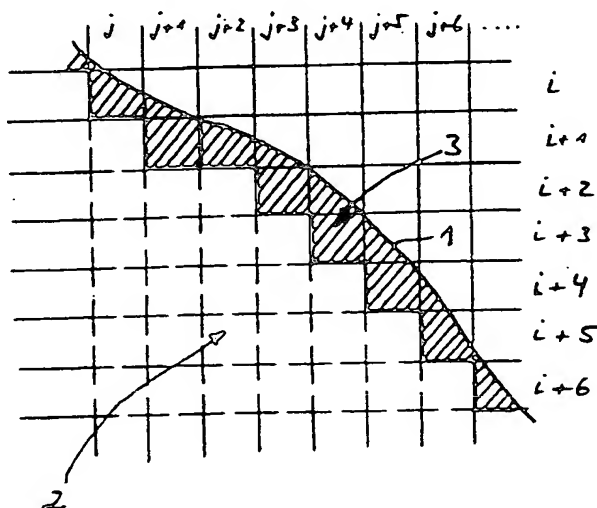
Reichle, Johannes, 81375 München, DE; Langer,  
Hans J., Dr., 82166 Gräfelfing, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

EP 03 62 982 A  
EP 01 71 069 A

54 Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts

- 57 Bei einem Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts, bei dem das Objekt durch aufeinanderfolgendes Verfestigen einzelner Schichten des Objekts aus flüssigem oder pulverförmigem Material durch Einwirkung einer elektromagnetischen Strahlung erzeugt wird, tritt das Problem auf, daß sich das Objekt entweder aufgrund des Schwundes des Materials verzieht oder bei entsprechender schwundmindernder Konstruktion eine geringe Oberflächen-güte aufweist.  
Zur Lösung dieses Problems wird jede Schicht in einen inneren Kernbereich 2 und einen äußeren Hüllbereich 3 zerlegt und die Strahlungseinwirkung wird im Kernbereich und im Hüllbereich zur Erzeugung unterschiedlicher Eigenschaften beider Bereiche verschieden gesteuert.



DE 43 09 524 C 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein derartiges Verfahren ist aus der EP 0 171 069 A bekannt. Bei einem derartigen Verfahren kann zwar eine gute Oberfläche erhalten werden, es tritt aber das Problem auf, daß eine Maßhaltigkeit des Objekts wegen der Verformung der einzelnen Schichten aufgrund von Schrumpfung des Materials nicht gewährleistet ist. Auch ist die Herstellungszeit lang.

Aus der EP 0 362 982 A ist es bekannt, zur Reduzierung der Verformungen entweder zunächst einzelne Streifen zu verfestigen, die mit benachbarten und darunterliegenden Streifen nur über eine Stützkonstruktion verbunden sind, oder die Schicht nur bereichsweise zu verfestigen, wobei im Objekt Spalten zwischen den Bereichen entstehen. In beiden Fällen kann jedoch eine hohe Oberflächenqualität erhalten werden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der oben genannten Art derart zu verbessern, daß eine geringe Verformung des Objekts bei gleichzeitiger hoher Oberflächenqualität erhalten wird. Ferner soll die Genauigkeit der Oberfläche erhöht und der Materialverbrauch sowie die Bauzeit verringert werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird im weiteren anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezug auf die Figur erläutert, die in schematischer Darstellung einen Schnitt durch einen Teil des Objekts in einer Schichtebene zeigt.

Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet nach dem unter dem Begriff "Stereographie" oder "Stereolithographie" bekannten Verfahren, wie es beispielsweise in der EP-A-0 171 069 dargestellt ist. Hierbei wird auf einen Träger bzw. eine bereits verfestigte Schicht eine Schicht eines flüssigen oder pulverförmigen Materials aufgetragen und durch Bestrahlen mit einem gerichteten Lichtstrahl, beispielsweise einem Laser, an dem Objekt entsprechenden Stellen verfestigt. Durch entsprechendes Verfestigen einer Vielzahl von Schichten wird das Objekt schichtweise erstellt. Zur genaueren Beschreibung dieses Verfahrens wird auf die genannte EP-A-0 171 069 Bezug genommen, die insoweit Teil dieser Anmeldung sein soll.

Eine Teilansicht einer beispielhaft herausgegriffenen Schicht ist in der Figur dargestellt, anhand der das erfindungsgemäße Verfahren zunächst im Prinzip beschrieben werden soll. In der Figur bezeichnet die Linie 1 die Kontur des herzustellenden Objekts in der Schicht. Die Fläche der Schicht ist rasterförmig in eine Vielzahl von quadratischen oder rechteckigen Einzelbereichen bzw. Voxels  $i, j \dots i+6, j+6$  mit einer Seitenlänge von 0,1 bis 5 mm, vorzugsweise 0,5 bis 2 mm, aufgeteilt. Die Koordinatendaten der Kontur 1 sowie der einzelnen Einzelbereiche liegen in einem Rechner vor, der die Bestrahlung der Schicht steuert. Im Rechner erfolgt ein Vergleich der Konturdaten mit den Koordinatendaten der Einzelbereiche. Stellt der Rechner fest, daß ein Einzelbereich, beispielsweise der Einzelbereich  $i+1, j$ , vollständig innerhalb der Kontur 1 liegt, dann wird dieser Einzelbereich einem Kernbereich 2 zugeordnet; wird dagegen festgestellt, daß ein Einzelbereich, beispielsweise der Einzelbereich  $i, j$ , von der Kontur 1 geschnitten wird, dann wird dieser Einzelbereich einem Hüllbe-

reich 3 zugeordnet. Damit ergibt sich ein schmaler Hüllbereich 3, der sich entlang der Konturlinie 1 mit einer im Mittel etwa der Seitenlänge der Einzelbereiche entsprechenden Breite erstreckt.

Vorzugsweise erfolgt im Rechner ausschließlich die Berechnung des Kernbereiches 2; der Hüllbereich 3 wird danach durch Subtraktion der Einzelbereiche des Kernbereiches 2 vom Gesamtkörper berechnet. Bei der Berechnung des Kernbereiches 2 werden alle Einzelbereiche markiert, die voll im Innern des Körperschnittes, also der Konturlinie 1, liegen.

Im einzelnen erfolgt die Zuordnung der Einzelbereiche zur Hülle oder zum Kern allerdings nicht nur zweidimensional, wie oben im Prinzip erläutert, sondern dreidimensional, um eine definierte Dicke des Hüllbereichs 3 in allen drei Richtungen zu erhalten.

In diesem Fall entspricht der Konturlinie 1 eine Konturfläche, und bei der Berechnung des Kerngebietes werden alle Einzelbereiche markiert, die voll im Inneren dieser Konturfläche liegen. Jeder Einzelbereich  $i, j$  beinhaltet dabei neben der Information über die aktuelle Schicht auch die entsprechende Information der vorangegangenen Schichten. Hierbei werden nur diejenigen Einzelbereiche als zum Kern gehörend markiert, die in einer vorbestimmten Anzahl von vorausgehenden Schichten ebenfalls Kerngebiete darstellten bzw. darstellen würden. Die vorbestimmte Anzahl hängt dabei von der erwünschten Hüllendicke und dem räumlichen Abstand der Einzelbereiche ab; bei Schichtdicken von 0,1 mm und einer Hüllendicke von 0,5 mm werden beispielsweise beträgt diese Anzahl beispielsweise 5. Dieselbe Betrachtung gilt auch für nachfolgende Schichten: Es werden nur diejenigen Einzelbereiche zum Kern gerechnet, die in einer vorgegebenen Anzahl von nachfolgenden Schichten ebenfalls zum Kern gehören bzw. gehören würden.

Nach der Zuordnung aller Einzelbereiche einer Schicht erfolgt die Verfestigung durch Bestrahlen der Schicht innerhalb der Einzelbereiche an den dem Objekt entsprechenden Stellen. Diese Bestrahlung erfolgt nun in unterschiedlicher Art und Weise, je nachdem ob es sich um einen Einzelbereich im Kernbereich oder einen solchen im Hüllbereich handelt. Da es im Kernbereich 2 (im Vergleich zum schmalen Hüllbereich 3) auf einen geringen Verzug, einen geringen Materialverbrauch und geringe Bauzeiten ankommt, werden dort die Einzelbereiche nicht vollflächig, sondern in Form einzelner Zellen bestrahlt bzw. verfestigt, die untereinander entweder durch schmale Stege oder vorzugsweise überhaupt nicht verbunden, sondern durch Trennfugen getrennt sind. Alternativ ist es möglich, die Einzelbereiche im Kernbereich 2 nur entlang geschlossener Linienzüge zu verfestigen, so daß sich Hohlstrukturen wie z. B. Wabenstrukturen ergeben, in denen noch flüssiges oder pulverförmiges Material eingeschlossen ist, das nach der Verfestigung des Objekts entweder abgelaßen oder durch Nachhärten verfestigt wird. Dieses Verfahren eignet sich besonders zur Vermeidung von thermischen Ausdehnungen, beispielsweise bei Ausschmelzformen, und auch zur direkten Herstellung von Gußformen. Hierbei wird das invertierte Objekt in einen einhüllenden Quader gesetzt. Hieraus ergibt sich eine Negativform, an der in der oben beschriebenen Weise eine Zerlegung in Hülle und Kern vorgenommen wird.

Im Kernbereich 2 wird die Bestrahlung derart durchgeführt, daß sich ein hoher Polymerisationsgrad und damit eine hohe Festigkeit bei geringer Verzugstendenz

ergibt.

Im Hüllbereich 3 kommt es dagegen auf eine hohe Genauigkeit und Qualität der Oberfläche an der Kontur 1 an. Hierzu erfolgt die Bestrahlung bzw. Verfestigung im Hüllbereich 3 vollflächig entweder in Form nebeneinanderliegender Schraffurlinien oder einer bzw. mehrerer nebeneinanderliegender Konturlinien, d. h. der Kontur 1 beispielsweise als Polygonzug folgenden Liniengruppen. Auch eine Kombination dieser Linientypen in einer Schicht oder in übereinanderliegenden Schichten ist möglich.

Die Bestrahlung im Kernbereich 2 und im Hüllbereich 3 einer einzigen Schicht kann gleichzeitig oder auch nacheinander durch entsprechende Steuerung mittels eines einzigen oder auch mehrerer Lichtstrahlen bzw. Laserstrahlen erfolgen, wobei die Schichtdicke im Kernbereich 2 und Hüllbereich 3 gleich ist. Es ist jedoch besonders vorteilhaft, zunächst eine Anzahl N von Schichten des Hüllbereichs 3 zu verfestigen, wobei N eine ganze Zahl darstellt. Das Material im Kernbereich 2 bleibt zunächst flüssig bzw. pulverförmig mit einer Schichtdicke, die dem N-fachen der Schichtdicke des Hüllbereichs 3 entspricht. Bei der N-ten Schicht wird auch diese dicke Schicht des Kernbereichs durch entsprechend intensives Bestrahlen verfestigt. Dadurch kann der Zeitaufwand für die Herstellung des Kerns und damit für die Herstellung des Objekts erheblich reduziert werden.

Wird der Kern nicht vollständig verfestigt, so ist es vorteilhaft, in der Hülle Öffnungen vorzusehen, durch die das im Kern verbliebene flüssige oder pulverförmige Material nach der Verfestigung des Objekts abfließen kann. Dies kann beispielsweise so erfolgen, daß in jeder N-ten Schicht Durchbrechungen des Hüllbereichs 3 vorgesehen werden, die so groß bemessen sind, daß sie ein Ausströmen des Materials zulassen, aber die Oberflächenqualität nicht beeinträchtigen.

Der besondere Vorteil des beschriebenen Verfahrens liegt darin, daß durch die übereinanderliegenden Hüllbereiche 3 eine verhältnismäßig stabile Hülle hergestellt wird, die es erlaubt, den Kernbereich mittels einer einen Verzug minimierenden Technik herzustellen, ohne daß die Stabilität des Objekts leidet. Beispielsweise ist es nur wegen dieser Hülle möglich, auf die Verbindungsstege zwischen den einzelnen Zellen oder Hohlstrukturen des Kernbereichs zu verzichten. Ferner wird die Herstellungszeit dadurch erheblich reduziert, daß im Kern, der den ganz überwiegenden Teil des Objektvolumens bildet, nur partiell verfestigt wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts, bei dem das Objekt durch aufeinanderfolgendes Verfestigen einzelner Schichten aus flüssigem oder pulverförmigem, verfestigbarem Material durch Einwirkung einer elektromagnetischen Strahlung erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Schicht in einen inneren Kernbereich und einen äußeren Hüllbereich zerlegt wird und daß die Strahlungseinwirkung im Kernbereich und im Hüllbereich zur Erzeugung unterschiedlicher Eigenschaften beider Bereiche verschieden gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungseinwirkung im Kernbereich so erfolgt, daß die Verformung des Objekts bei und nach der Verfestigung minimal ist, und daß

die Strahlungseinwirkung im Hüllbereich zur Erzeugung einer möglichst glatten und genauen Oberfläche erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Kernbereich einzelne beabstandete Teilbereiche verfestigt werden und daß gegebenenfalls die Zwischenbereiche zwischen den Teilbereichen nach Verfestigen der Teilbereiche einer Schicht oder nach Verfestigen aller Teilbereiche des Objekts ebenfalls verfestigt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß im Kernbereich einzelne Streifen verfestigt werden, die mit benachbarten und darunterliegenden Streifen über eine Stützkonstruktion verbunden sind.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Kernbereich zunächst Teilbereiche einer Schicht verfestigt werden und dabei mit darunterliegenden Teilbereichen der vorher verfestigten Schicht zu mehrschichtigen Zellen verbunden werden, daß danach die Teilbereiche mit den benachbarten Teilbereichen derselben Schicht durch Verfestigung von schmalen Verbindungsbereichen zwischen den Teilbereichen in Form von Verbindungsstegen verbunden werden und daß schließlich die Zwischenbereiche zwischen den Teilbereichen verfestigt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsbereiche erst nach einer Wartezeit verfestigt werden, die einer Schrumpfung der Teilbereiche um mindestens ein vorgegebenes Maß entspricht.

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilbereiche zur Erzeugung von Hohlstrukturen, vorzugsweise Wabenstrukturen, gebildet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Hüllbereich dicht aneinanderliegende Teilbereiche verfestigt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungseinwirkung im Hüllbereich entlang einer bzw. mehrerer Linien erfolgt, die den äußeren Rand des Hüllbereichs beschreiben bzw. zu diesem parallel sind.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke im Hüllbereich geringer als im Kernbereich gewählt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst eine ganze Zahl N von Schichten des Hüllbereichs verfestigt werden und danach eine Schicht des Kernbereichs mit einer dem N-fachen der Dicke der Hüllbereichsschichten entsprechenden Schichtdicke verfestigt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für den Hüllbereich Volumenelemente des Objekts in einer Schicht definiert werden, die innerhalb eines vorgegebenen Abstands vom Rand des Objekts in dieser Schicht liegen.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß solche Volumenelemente definiert werden, die in einer Schicht und/oder in einer vorbestimmten Anzahl von vorhergehenden und/oder nachfolgenden Schichten dieser Schicht vom Rand bzw. der Kontur des Objekts berührt oder ge-

schnitten werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für den Hüllbereich eine Dicke von 0,1 bis 5 mm, vorzugsweise 0,5 bis 2 mm, gewählt wird.

5

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Hüllbereich Öffnungen gebildet werden, durch die unverfestigtes Material aus dem Kernbereich ausfließen kann.

10

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

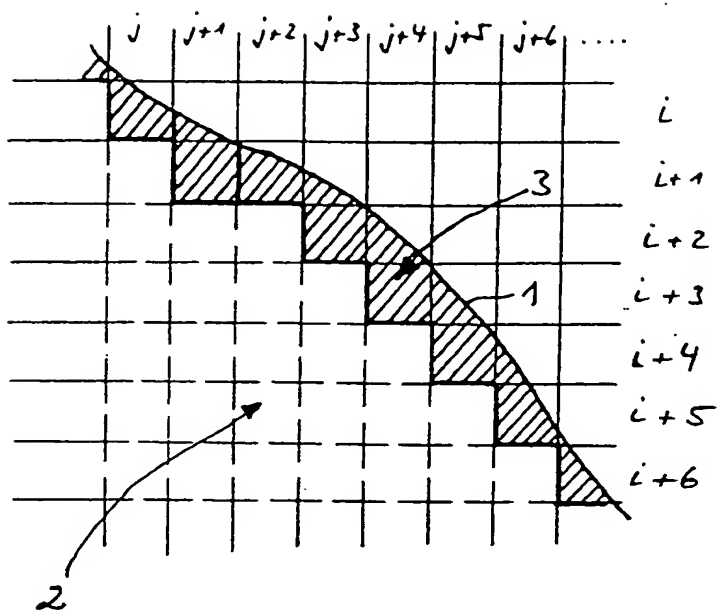


Fig. 1